

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кафедра Мікро- та наноелектроніки
(найменування кафедри)

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
ТВЕРДОТІЛА ЕЛЕКТРОНІКА
(назва навчальної дисципліни)

Освітня програма: Якість, стандартизація та сертифікація
(назва освітньої програми)

Спеціальність: 152Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
(найменування спеціальності)

Галузь знань: 15Автоматизація та приладобудування
(найменування галузі знань)

Ступінь вищої освіти: перший(бакалаврський)
(назва ступеня вищої освіти)

Затверджено на засіданні кафедри
Мікро-та наноелектроніки
(найменування кафедри)

Протокол №1 від 28.08.2020 р.

м. Запоріжжя 2020

1. Загальна інформація	
Назва дисципліни	ППН 04– «Твердотіла електроніка» Навчальна дисципліна нормативного компонента циклу професійної підготовки
Рівень вищої освіти	Перший (бакалаврський) рівень
Викладач	Коротун А. В., к.ф.-м.н., доцент Мікро- і наноелектроніки
Контактна інформація викладача	Робочий телефон: +380617698367, e-mail: andko@zp.edu.ua
Час і місце проведення навчальної дисципліни	згідно до розкладу занять дистанційне навчання – https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=2473
Обсяг дисципліни	Кількість годин – загальний обсяг 255 годин кредитів – 8,5 кредити ЄКТС, з яких 1,5 кредити ЄКТС - курсовий проєкт, а 7 кредитів ЄКТС – на вивчення дисципліни розподіл годин (на вивчення дисципліни): 28 годин лекційних, 28 годин практичних, 64 годин самостійна робота, 15 годин індивідуальна робота, вид контролю – іспит
Консультації	Згідно з графіком консультацій

2. Пререквізити і постреквізити навчальної дисципліни

Пререквізити

Дисципліни:

ЗПН 08– «Теорія електричних і електронних кіл»,
ППВ 03 – «Хімія наноструктурованих матеріалів»/ «Матеріалознавство систем зниженої розмірності» / «Хімія дисперсних систем»,
ППВ 02 – «Фізика твердого тіла» / «Фізика конденсованого стану» / «Основи фізики металів».

Постреквізити

Дисципліни:

ППН 06 – «Пристрої інформаційно-вимірювальної техніки»,
ППН 08 – «Аналогова схемотехніка»,
ППН 09 – «Механіка мікро- і наносистем»,
ППН 10 – «Основи контролю і технічної діагностики»,
ППН 11 – «Елементи та прилади наноелектроніки»,
ППН 13 – «Цифрова схемотехніка»,
ППН 15 – «Пристрої живлення вимірювальної техніки»,
ППВ 11– «Проектування вимірювальних систем» / «Проектування систем автоматизації» / «CAD для інформаційно-вимірювальних системах».

3. Характеристика навчальної дисципліни

Твердотіла електроніка – це курс теоретично-практичного спрямування, що охоплює вивчення фізичних явищ у твердих тілах, що лежать в основі роботи приладів, технології виготовлення і застосування твердотілих приладів при побудові інформаційно-вимірювальних пристроїв.

Вивчення навчальної дисципліни «Твердотіла електроніка» дасть студентові можливість набути вміння і навички в розрахунку параметрів твердотілих приладів, вміння правильно обирати прилад для побудови електронної схеми з урахуванням поставленої задачі, забезпечити надійну експлуатацію приладу з максимальним використанням його можливостей, а також набуття практичних навичок експериментального визначення параметрів приладів і моделей.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен отримати

загальні компетентності:

- здатність застосовувати професійні знання й уміння у практичних ситуаціях;

- здатність вільно володіти державною мовою та спілкуватися іноземними мовами;
- навички використання інформаційних і комунікаційних технологій;
- здатність до пошуку, опрацювання та аналізу інформації з різних джерел;
- здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями;
- здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт;

фахові компетентності:

- здатність проводити аналіз складових похибки за їх суттєвими ознаками, оперувати складовими похибки/невизначеності у відповідності з моделями вимірювання;
- здатність проектувати засоби інформаційно-вимірювальної техніки та описувати принцип їх роботи;
- здатність, виходячи з вимірювальної задачі, пояснювати та описувати принципи побудови обчислювальних компонент засобів вимірювальної техніки;
- здатність використовувати сучасні інженерні та математичні пакети для створення моделей приладів і систем вимірювань;
- здатність застосовувати стандартні методи розрахунку при конструюванні модулів, деталей та вузлів засобів вимірювальної техніки та їх обчислювальних компонент і модулів;
- здатність до здійснення налагодження і дослідної перевірки окремих видів приладів в лабораторних умовах і на об'єктах.

Очікувані програмні результати навчання:

- вміти знаходити обґрунтовані рішення при складанні структурної, функціональної та принципової схем засобів інформаційно-вимірювальної техніки;
- знати і розуміти основні поняття метрології, теорії вимірювань, математичного та комп'ютерного моделювання, сучасні методи обробки та оцінювання точності вимірювального експерименту;
- розуміти широкий міждисциплінарний контекст спеціальності, її місце в теорії пізнання і оцінювання об'єктів і явищ;
- вміти використовувати принципи і методи відтворення еталонних величин при побудові еталонних засобів вимірювальної техніки (стандартних зразків, еталонних перетворювачів, еталонних засобів вимірювання);
- вміти використовувати інформаційні технології при розробці програмного забезпечення для опрацювання вимірювальної інформації;
- вміти організовувати та проводити вимірювання, технічний контроль і випробування.
- розуміти застосовувані методики та методи аналізу, проектування і дослідження, а також обмежень їх використання;
- знати та розуміти сучасні теоретичні та експериментальні методи досліджень з оцінюванням точності отриманих результатів;
- знати та вміти застосовувати сучасні інформаційні технології для вирішення задач в сфері метрології та інформаційно-вимірювальної техніки;
- вміти організувати процедуру вимірювання, калібрування, випробувань при роботі в групі або окремо;
- знати та розуміти предметну область, її історію та місце в сталому розвитку техніки і технологій, у загальній системі знань про природу і суспільство.
- вільно володіти термінологічною базою спеціальності, розуміти науково-технічну документацію державної метрологічної системи України, міжнародні та міждержавні рекомендації та настанови за спеціальністю.

4. Мета вивчення навчальної дисципліни

вивчення студентами фізичних процесів, що визначають принцип дії, властивості, характеристики і параметри різних напівпровідникових приладів у дискретному та інтегральному виконанні.

5.Завдання вивчення дисципліни

полягає у формуванні у студентів уявлень про функціональні можливості твердого тіла щодо створення електронних пристроїв на основі фізичних ефектів у напівпровідниках, діелектриках та магнітних матеріалах.

6. Зміст навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Фізичні явища на контакті і поверхні твердих тіл

Вступ.

Твердотіла електроніка як галузь науки і техніки. Задачі, напрямки досліджень, проблеми, перспективи і тенденції розвитку твердотілої електроніки.

Тема 1. Фундаментальна система рівнянь фізики напівпровідникових приладів.

Перенесення носіїв заряду в напівпровідниках. Дрейфова швидкість, дифузійний та повний струм.

Рівняння Пуассона.

Рівняння неперервності.

Рівняння Максвелла для однорідних ізотропних матеріалів.

Рівняння для густини струму

Тема 2. Фізичні явища на контакті і поверхні твердих тіл.

Фізичні явища на контакті метал – напівпровідник. Перехід Шотткі.

Випрямляючі контакти метал – напівпровідник. Омічні контакти метал – напівпровідник.

Утворення та енергетична діаграма електронно-діркового переходу (ЕДП). Висота потенціального бар'єра та контактна різниця потенціалів ЕДП. Види ЕДП.

Розподіл напруженості електричного поля і потенціалу в ЕДП.

Розрахунок товщини ЕДП.

Бар'єрна ємність ЕДП.

Вплив зовнішньої напруги на ЕДП.

Ефект поля. Поверхневі стани

Тема 3. Діоди.

Визначення, вольт-амперні характеристики. Математична модель діода. Рівняння Шоклі.

Діоди з товстою базою. Діоди з тонкою базою.

Генерація і рекомбінація носіїв в ЕДП. Пробій ЕДП.

Частотні властивості діодів. Шуми діодів.

Види напівпровідникових діодів.

Змістовий модуль 2. Транзистори і тиристори.

Тема 4. Біполярний транзистор.

Біполярний транзистор, основні уявлення та принцип дії.

Модель біполярного транзистора Гуммеля – Пуна.

Еквівалентна електрична схема біполярного транзистора за моделлю Гуммеля – Пуна.

Модель біполярного транзистора Еберса – Молла.

Перехідні процеси у транзисторах.

Статичні параметри та вихідні характеристики транзисторів.

Основні види біполярних транзисторів.

Тема 5. Тиристори.

Структура та основні різновиди тиристорів. Принцип дії та основні характеристики тиристорів. Фізична модель тиристора. Двотранзисторний аналог тиристора. Струм тиристора в закритому стані. Умова перемикавання.

Напруга вмикання тиристора. Вплив струму керування та шунтування на вольт-амперну характеристику тиристора. Вольт-амперна характеристика тиристора у відкритому стані. Способи вмикання тиристорів.

Тема 6. Польові транзистори.

Польові транзистори, їх визначення, принцип дії та ВАХ. Польові транзистори: приповерхневий канал, об'ємний канал. Польовий транзистор з керуючим *p-n*-переходом.

Польовий транзистор із ізольованим затвором.

Змістовий модуль 3. Сучасні твердотільні прилади.

Тема 7. Прилади НВЧ-діапазону.

Тунельний діод. Обернений діод. Надлишковий струм. Вольт-амперна характеристика тунельного діода. Параметри та частотні властивості тунельного діода.

Принцип роботи пролітних приладів і лавинно-прольотного діода. Запізнення ударної іонізації та пролітний ефект. Малосигнальний імпеданс. оптимальні кути прольоту.

Різновиди лавинно-прольотних діодів. Інжекційно-прольотні діоди. Прольотний діод із захопленням об'ємним зарядом плазми.

Ефект міждолинного переносу електронів. Стійкість системи з негативною диференційною провідністю. Залежність дрейфової швидкості електронів від напруженості електричного поля. Параметри домену.

Аналіз руху доменів сильного поля. Правило рівних площ. Вольт-амперні характеристики домену та діода з доменом. Режими роботи діодів із між долинним переносом електронів. Частотні властивості.

Тема 8. Елементи інтегральних схем.

Визначення і класифікація інтегральних схем (ІС). Способи ізоляції напівпровідникових ІС.

Інтегральні резистори та конденсатори. Інтегральні діоди та біполярні транзистори.

Інтегральний МОН-транзистор, його визначення та принцип дії.

Інтегральний МОН-транзистор з індукованим однорідним каналом.

Інтегральний МОН-транзистор з індукованим неоднорідним каналом.

7.План вивчення навчальної дисципліни

№ тижня	Назва теми	Форми організації навчання	Кількість годин
1	Вступ. Тема 1. Фундаментальна система рівнянь фізики напівпровідникових приладів.	Лекція	2
1	Фізичні явища на контакті та поверхні напівпровідників.	Практичне заняття	2
1	Дослідження прямої гілки вольт-амперної характеристики діода.	Лабораторне заняття	2
2	Тема 1. Фундаментальна система рівнянь фізики напівпровідникових приладів.	Лекція	2
2	Фізичні явища на контакті та поверхні напівпровідників.	Практичне заняття	2
3	Тема 2. Фізичні явища на контакті і поверхні твердих тіл.	Лекція	
3	Діоди.	Практичне заняття	2
3	Дослідження температурної залежності зворотної гілки ВАХ діода.	Лабораторне заняття	
4	Тема 2. Фізичні явища на контакті і поверхні твердих тіл. Тема 3. Діоди	Лекція	2
4	Діоди.	Практичне заняття	2
5	Тема 3. Діоди	Лекція	2
5	Діоди.	Практичне заняття	2
5	Визначення опору бази діода.	Лабораторне заняття	2
6	Тема 3. Діоди	Лекція	
6	Біполярні транзистори.	Практичне заняття	2
7	Тема 4. Біполярний транзистор.	Лекція	2
7	Біполярні транзистори. Модульний контроль І.	Практичне заняття	2
7	Дослідження ВАХ діода в області теплового та лавинного пробою.	Лабораторне заняття	2
8	Тема 4. Біполярний транзистор.	Лекція	
8	Польові транзистори.	Практичне заняття	2

9	Тема 4. Біполярний транзистор. Тема 5. Тиристори.	Лекція	2
9	Польові транзистори.	Практичне заняття	2
9	Біполярний транзистор.	Лабораторне заняття	2
10	Тема 5. Тиристори. Тема 6. Польові транзистори.	Лекція	2
10	Тиристор.	Практичне заняття	2
11	Тема 6. Польові транзистори. Тема 7. Прилади НВЧ-діапазону.	Лекція	2
11	Тиристор.	Практичне заняття	2
11	Польовий транзистор з МДН-структурою.	Лабораторне заняття	2
12	Тема 7. Прилади НВЧ-діапазону.	Лекція	2
12	Пролітні явища та прилади на їх основі.	Практичне заняття	2
13	Тема 8. Елементи інтегральних схем.	Лекція	2
13	Пролітні явища та прилади на їх основі.	Практичне заняття	2
13	Тиристор.	Лабораторне заняття	2
14	Тема 8. Елементи інтегральних схем.	Лекція	2
14	Пролітні явища та прилади на їх основі. <i>Модульний контроль II.</i>	Практичне заняття	2
15	Іспит	тестування	2

8. Самостійна робота

№ тиж-ня	Назва теми	Види СР	Кіл-ть годин	Контрольні заходи
1	Вступ.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	2	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
2 – 3	Фундаментальна система рівнянь фізики напівпровідникових приладів.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	10	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
4 – 5	Фізичні явища на контактній поверхні твердих тіл.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	20	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
6 – 7	Діоди.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	18	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
8– 10	Біполярний транзистор.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	20	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
11 – 12	Тиристори.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	12	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
12 – 13	Польові транзистори.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	18	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
13 – 14	Прилади НВЧ-діапазону.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	26	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.

14 – 15	Елементи інтегральних схем.	Опрацювання літератури, підготовка до лабораторних робіт та практичних занять, індивідуальна робота.	10	Усне опитування на лекціях, практичних заняттях.
---------	-----------------------------	--	----	--

Консультативна допомога студенту надається у таких формах:

- особиста зустріч викладача і студента за графіком консультацій <https://zp.edu.ua/rozklad-zanyat-konsultacyi-ta-ispytiv-kafedry-mikro-ta-nanoelektronika> (не менш ніж 2 години на тиждень або за попередньою домовленістю);
- листування за допомогою електронної пошти andko@zp.edu.ua;
- відеозустріч в системі ZoomMeeting, аудіоспілкування або повідомлення у сервісах Viber та Telegram (за графіком консультацій викладача);
- спілкування по телефону (за графіком консультацій викладача).

Індивідуальні завдання

За навчальним планом у 5-му семестрі передбачається виконання **курсowego проєкту** „Розрахунок електричних параметрів і характеристик напівпровідникових приладів“.

Курсовий проєкт є одним із основних видів індивідуального завдань студентів, передбачених навчальним планом. Метою виконання курсового проєкту є формування у студентів навичок самостійної науково-дослідницької діяльності й оформлення отриманих результатів. Задачі курсового проєкту полягають у систематизації, закріпленні і розширенні теоретичних знань, отриманих на лекціях і практичних заняттях.

Для повного і правильного розкриття змісту обраної теми курсового проєкту студенту необхідно:

- ❖ вивчити наукові роботи з даної проблеми (монографії, статті);
- ❖ спиратися на навчальну літературу з відповідної дисципліни.

Однією з найважливіших вимог, що висуваються до студентів, є самостійне і творче виконання курсової роботи.

Етапи підготовки курсового проєкту оцінює викладач. Відставання у строках впливає на загальну оцінку.

Виконання курсового проєкту доцільно розбити на шість етапів:

- ❖ вибір тематики;
- ❖ підбір і вивчення літератури;
- ❖ складання плану роботи;
- ❖ збір і обробка фактичного і статистичного матеріалу;
- ❖ написання курсового проєкту;
- ❖ захист курсового проєкту.

Починати вивчення теми краще всього з ознайомлення з відповідними розділами підручників. Потім слід переходити до ознайомлення з більш складним матеріалом – загальною і спеціальною літературою. Вивчаючи матеріал, потрібно намагатись знайти ту інформацію, яка необхідна для роботи. Під час вивчення з'ясуються всі незнайомі слова і терміни. Для цього слід скористатися словниками і довідниками.

Після проведення попередньої і, мабуть, найбільш трудомісткої роботи, можна переходити до написання окремих розділів курсового проєкту.

Курсові проєкти повинні відповідати вимогам СТП за змістом і оформленням.

Курсовий проєкт складається з:

- ❖ реферативного огляду, систематизації і аналізу публікацій з певної тематики, пов'язаної з питанням, що вивчається.
- ❖ дослідження актуальної задачі про напівпровідникові прилади;
- ❖ розробки програмного забезпечення.

Курсовий проєкт має бути написаний літературною мовою. Мова, стиль викладення, вміння будувати стислі речення, виражати свою думку в зрозумілій формі, що не допускає розбіжностей, має велике значення.

Слід дотримуватись одноманітності у застосуванні термінів, умовних позначень і скорочень слів.

Щоб запобігти стилістичних помилок, рекомендовано використовувати сучасні видання словників, довідників і енциклопедій.

Крім курсового проєкту студенти денної форми навчання готують два індивідуальних домашніх завдання у вигляді розв'язаних задач. Максимальна оцінка індивідуального завдання складає 15 балів.

Для студентів заочної форми навчання передбачена *контрольна робота*.

9. Система та критерії оцінювання курсу

Оцінювання навчальних успіхів студентів реалізується шляхом проведення поточного та підсумкового контролю успішності.

Для студентів денної форми навчання:

1. Курсом передбачені *практичні заняття і лабораторні роботи*.

1.1. Враховуючи активність студента на практичних заняттях та результати аудиторних контрольних робіт студент може отримати в кожному модулі максимально 15 балів.

1.2. Якщо всі лабораторні роботи здані на оцінку „відмінно“, робіт студент може отримати в кожному модулі максимально 15 балів.

2. За індивідуальне завдання, яке включає в себе *розв'язок та захист набору задач за варіантами*, студент може отримати в кожному модулі максимально 15 балів, за умови демонстрації високого рівня знань і вміння їх застосовувати для аналізу існуючих проблем твердотілої електроніки.

3. По закінченню першого і другого напівсеместру проводиться рубіжні контролю у вигляді *аудиторної контрольної роботи*. Максимальна рейтингова оцінка цих видів контролю – 40 балів.

4. За підсумками першого та другого рубіжного модульного контролю студенту формується підсумкова оцінка знань, яка оголошується до початку екзаменаційної сесії. Під час екзаменаційної сесії студенти, які незгодні з оцінкою за підсумками рубіжного контролю або отримали незадовільну оцінку, з'являються на *екзамен*.

Для студентів заочної форми навчання передбачено захист контрольної роботи, розв'язування задач, лабораторні роботи, усний або письмовий іспит.

Критерії оцінювання

Поточне тестування та самостійна робота								Підсумкова
Змістовий модуль №1				Змістовий модуль № 2				
ПЗ	ЛР	МК	Σ	ПЗ	ЛР	МК	Σ	100
20	20	60	100	20	20	60	100	

ПЗ – практичні заняття; ЛР – лабораторні роботи; МК – модульна контрольна робота.

Отже, сумарна кількість балів, яку отримує студент впродовж семестру, складає 100. В залежності від отриманої суми балів до залікової відомості та в залікову книжку виставляється оцінка згідно національної шкали.

Оцінювання курсового проєкту відбувається за результатами його захисту. Результати захисту курсового проєкту оцінюються за національною шкалою та шкалою ECTS:

Пояснювальна записка	Ілюстративна частина	Захист роботи	Сума
до <u>20</u>	до <u>20</u>	до <u>60</u>	<u>100</u>

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену, курсового проєкту (роботи), практики	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
85-89	B	добре	
75-84	C		
70-74	D	задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання
1-34	F	незадовільно з обов’язковим повторним вивченням дисципліни	не зараховано з обов’язковим повторним вивченням дисципліни

10. Політика курсу

Політика щодо академічної доброчесності:

Складати всі проміжні та фінальні завдання самостійно без допомоги сторонніх осіб.

Надавати для оцінювання лише результати власної роботи.

Не вдаватися до кроків, що можуть нечесно покращити ваші результати чи погіршити/покращити результати інших студентів.

Не публікувати відповіді на питання, що використовуються в рамках курсу для оцінювання знань студентів

Політика щодо відвідування аудиторних занять (особиста присутність студента):

Студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання. Система оцінювання орієнтована на отримання балів за активність студента, а також виконання завдань, які здатні сформувати загальні та фахові компетентності. Самостійну роботу студент може виконати у системі дистанційного навчання (<https://moodle.zp.edu.ua/course/view.php?id=2475>) з подальшим захистом. За об'єктивних причин (наприклад, лікарняні, стажування, мобільність, індивідуальний графік, інше) аудиторні види занять та завдань також можуть бути трансформовані в систему дистанційного навчання (сервіс Moodle).

Політика щодо дедлайнів.

Студент зобов'язаний дотримуватись крайніх термінів (дата для аудиторних видів робіт або час в системі дистанційного навчання), до яких має бути виконано певне завдання. За наявності поважних причин (відповідно до інформації, яку надано деканатом) студент має право на складання індивідуального графіку вивчення окремих тем дисципліни.

Політика щодо оскарження результатів контрольних заходів:

Студенти мають можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто. Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються.

Політика щодо дотримання прав та обов'язків студентів.

Права і обов'язки студентів відображено у п.7.5 Положення про організацію освітнього процесу в Національному університеті «Запорізька політехніка» (https://zp.edu.ua/uploads/dept_nm/Polozhennia_pro_organizatsiyu_osvitnoho_protseesu.pdf).

Політика щодо конфіденційності та захисту персональних даних.

Обмін персональними даними між викладачем і студентом в межах вивчення дисципліни, їх використання відбувається на основі закону України «Про захист персональних даних» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text>). Стаття 10, п.3.

